

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09116225 A**

(43) Date of publication of application: **02.05.97**

(51) Int. Cl

H01S 3/18

(21) Application number: **07272321**

(22) Date of filing: **20.10.95**

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

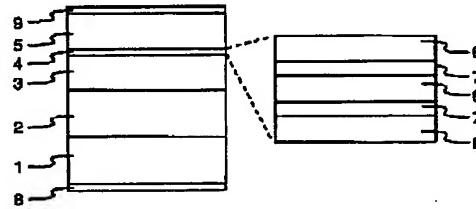
(72) Inventor: **NIWA ATSUKO
OTOSHI SO
KURODA TAKARO
TANAKA TOSHIAKI
WATANABE AKISADA**

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the threshold carrier density of a gallium nitride-based compound semiconductor laser by reducing the state density of a valence band and increasing the transition probability of the band.

SOLUTION: A quantum well active layer 4 having a biaxial tensile strain is grown on a substrate crystal 1 having plane orientation of (1-100)-plane, (11-20)-plane, or an equivalent plane, and a resonator is constituted in the direction perpendicular to the (0001)-direction. Therefore, the state density of the upper part of a valence band can be reduced and, at the same time, the transition probability of the band can be increased. In addition, a gallium nitride-based compound semiconductor laser can be obtained, because the threshold current density can be reduced.



COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-116225

(43) 公開日 平成9年(1997)5月2日

(51) Int.Cl.⁶
H01S 3/18

識別記号 庁内整理番号

F I
H01S 3/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数6 O.L (全6頁)

(21) 出願番号 特願平7-272321

(22) 出願日 平成7年(1995)10月20日

(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(72) 発明者 丹羽 敦子
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72) 発明者 大▲歳▼ 創
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72) 発明者 黒田 崇郎
東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体発光素子

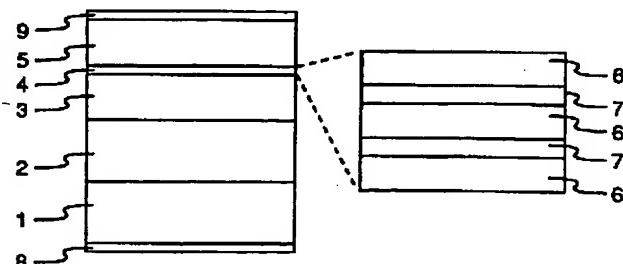
(57) 【要約】

【課題】窒化ガリウム系化合物半導体レーザでは、価電子帯の状態密度低減と遷移確率増大によるしきい値キャリア密度の低減が必要であった。

【解決手段】面方位が(1-100)面、あるいは(11-20)面、あるいはこれと等価な面である基体結晶上に二軸性の引っ張り歪をもつ量子井戸活性層を成長し、共振器を[0001]方向に垂直な方向に作製する。

【効果】本発明によれば、価電子帯上部の状態密度を低減し、かつ、遷移確率を増大できる。これにより、しきい値電流密度を低減できるため、窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現できる。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも化合物半導体で構成され、ウルツ鉱構造をもつ第一の結晶上に、第一導電型及び第二導電型の二層のクラッド層と、上記クラッド層に挟まれた量子井戸活性層をエピタキシャル成長してなる半導体発光素子であって、上記量子井戸活性層が(1-100)面から10度以内のずれを有する面、あるいはこれと等価な面上に形成されており、上記量子井戸活性層の井戸層が、二軸性応力の無い状態での格子定数が上記第一の結晶の格子定数より小さい材料で構成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】少なくとも化合物半導体で構成され、ウルツ鉱構造をもつ第一の結晶上に、第一導電型及び第二導電型の二層のクラッド層と、上記クラッド層に挟まれた量子井戸活性層をエピタキシャル成長してなる半導体発光素子であって、上記量子井戸活性層が(11-20)面から10度以内のずれを有する面、あるいはこれと等価な面上に形成されており、上記量子井戸活性層の井戸層が、二軸性応力の無い状態での格子定数が上記第一の結晶の格子定数より小さい材料で構成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項3】特許請求の範囲第1～2項に記載の半導体発光素子において、[0001]方向と垂直な方向に導波路が形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項4】特許請求の範囲第1～3項に記載の半導体発光素子において、上記量子井戸活性層が $In_xG_{ay}A_{11-x-y}NzAs_{1-z}$ ($0 < x \leq 1$, $0 < y \leq 1$, $0 < z \leq 1$)で構成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項5】特許請求の範囲第1～4項記載の半導体発光素子において、上記第一の結晶がZnO基板上にエピタキシャル成長させていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項6】特許請求の範囲第1～5項記載の半導体発光素子において、発振波長が350nm～550nmであることを特徴とする半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化ガリウム系化合物半導体を用いた発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】GaN、GaAlN、InGaN、InGaAlN等の窒化ガリウム系化合物半導体は直接遷移型を有するワイドギャップ半導体であり、青色から紫外域までの発光素子を構成する材料として盛んに研究されている。現在、この材料を用いた発光素子としてサファイア基板上に構成したZnドープInGaN層を発光層とするダブルヘテロ構造の高輝度青色LEDが知られている(S. Nakamura et al., Appl. Phys. Lett., 64(1999) 50

4) 1687)。また、ZnO基板上に構成し格子歪による欠陥を減少した窒化ガリウム系発光素子が特開平5-206513公報に開示されている。しかし、これまで電流注入による窒化ガリウム系化合物半導体レーザは実現されていなかった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】窒化ガリウム系化合物半導体において電流注入によるレーザ発振が困難であるのは、この材料系の価電子帯の状態密度が大きく、しきい値キャリア密度が高いことに起因する。図5にウルツ鉱型GaNの歪の無い場合のΓ点付近の価電子帯上部のバンド構造を示す。

【0004】因みに、Γ点は結晶内部の電子の波数ベクトルk(図5の横軸の波数に相当)が「0」となる点である。さて、ウルツ鉱型半導体では、結晶場とスピン軌道相互作用によりΓ点のエネルギーは三つにスプリットする。この三つのバンドをΓ点の波動関数の状態で、便宜的に、それぞれhh(h e a v y h o l e)1, hh2, lh(l i g h t h o l e)と呼ぶことにする。GaNの価電子帯上部の状態密度はGaAs等の一般的なIIIV族半導体と比較して大きいため、レーザ発振を与えるしきい値キャリア密度が増大し、電流注入によるレーザ発振は困難であった。またウルツ鉱型半導体では、hh1とhh2の波動関数の性質が同じであるため、歪を加えてもhh1, hh2のエネルギー分裂はほとんど変化しない。このため、ウルツ鉱型半導体では圧縮歪による状態密度の低減も期待できなかった。

【0005】本発明は窒化ガリウム系化合物半導体の引っ張り歪による価電子帯上部の状態密度の低減と光学遷移確率の増大により、レーザ発振に必要なしきい値キャリア密度を低減し、電流注入による窒化ガリウム系半導体レーザを実現することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化ガリウム系半導体発光素子は、ウルツ鉱構造をもつ第一の結晶の(1-100)面上に二軸性の引っ張り歪をもつ量子井戸活性層を成長し、導波路を第1の結晶の[0001]軸に垂直な方向、すなわち[11-20]方向に作製することを特徴とする。また、第一の結晶の(11-20)面上に二軸性の引っ張り歪をもつ活性層を成長し、導波路を[0001]軸に垂直な方向、すなわち[1-100]方向に作製することによっても同様の効果を得ることができる。また、上記の第一の結晶の面方位が(1-100)あるいは(11-20)から10度以内のずれを有する面である場合にも同様の効果を得ることができる。換言すれば、本発明による半導体発光素子は、(1)活性層を構成する結晶のc軸が素子が形成される基板の表面に対して略平行であり、且つ(2)活性層の井戸層には引っ張り歪が加えられているという構造

的な特徴を有する。

【0007】例えばウルツ鉱型GaNに2%の二軸性引っ張り歪を加えた場合の Γ 点付近の価電子帯上部のバンド構造は図6のようになる。図5と比較すると、引っ張り歪を印加することによりz軌道からなる1hバンドが上側にシフトしc軸すなわち[0001]軸に平行な方向の価電子帯上部の状態密度が大幅に低減することがわかる。即ち、c軸に平行な方向の波数(横軸)に対するエネルギー(縦軸)の変化が急となり、状態密度が低減している。したがって、量子井戸活性層を[0001]軸に垂直な方向、すなわち(1-100)面あるいは(11-20)面、またはこれと等価な面上に構成し、引っ張り歪を印加したことにより価電子帯の状態密度を低減することができる。

【0008】また、(1-100)面あるいは(11-20)面上に量子井戸を形成すると量子井戸面内の異方性により光学遷移確率は偏光方向依存性をもつ。例えば、面方位が(1-100)である量子井戸の Γ 点における遷移行列要素の偏光依存性は、(0001)面に構成した無歪の量子井戸の場合と比較すると表1のようになる。表1は、GaN量子井戸におけるバンド端での光学行列要素の計算結果を示す。

【0009】

【表1】

表1

基板面 偏光	(0001) 無歪	(1-100) 2%引っ張り歪
TEモード	7.62 eV	13.2 eV (偏光[0001])
		0.92 eV (偏光[11-20])
TMモード	0 eV	1.05 eV

【0010】表1より、(1-100)面上の引っ張り歪量子井戸では導波路を[0001]と垂直な方向、すなわち[11-20]方向に形成すれば、遷移確率を2倍程度大きくできることがわかる(表中のエネルギー値は光学遷移の生じ易さを示し、大きいほど遷移確率は高い)。これにより、利得が増大し、発振に必要なしきい値キャリア密度が低減され、窒化ガリウム系半導体レーザを実現できる。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明の第一の実施例を図1を用いて説明する。

【0012】図示のように、この多重量子井戸レーザは、(1-100)面n型ZnO基板1上に、基板1と格子整合するInGaNバッファ層2、Siをドープしたn-InGaAlN層3、アンドープ多重量子井戸からなる活性層4、Mgをドープしたp-InGaAlN層5が順次積層されて構成される。これらの各層はガスソース分子線成長法によりエピタキシャル成長される。バッファ層2、n-InGaAlN層3、p-InGaAlN層5の膜厚はそれぞれ、2μm、0.15μm、0.15μmである。アンドープ多重量子井戸活性層4は、拡大して示したように、In_{1-x}Ga_xN層6とIn_{1-y}Ga_yN井戸層(膜厚8nm)7が交互に積層形成された二重量子井戸構造を有する。ここで井戸層7の組成比は、ZnOの格子定数をaとしたとき、これらの格子定数のずれΔa/aが-1.8%となるように設定されており、二軸性の引

張り歪が印加されている。以上のようにして得られたウエハーの基板1の裏面にn側In電極8、p型InGaN層5にA1電極9を蒸着したのち、(11-20)面でへき開し[11-20]方向(図1の活性層4の側面側)に長さ約800μmの共振器を形成し半導体レーザを作製する。本半導体レーザは室温においてしきい値電流約50mAで連続発振した。発振波長は約420nmであった。

【0013】本実施例において、ZnO基板の面方位を(11-20)面とし、共振器を[1-100]方向に形成した半導体レーザを同様に作製したところ、しきい値電流、発振波長はほぼ同等のものが得られた。また、本実施例において、ZnO基板の面方位を(1-100)面から[0001]方向に10度傾斜した面とし、共振器を[11-20]方向に形成した半導体レーザを同様に作製したところ、しきい値電流、発振波長はほぼ同等のものが得られた。

【0014】次に本発明第二の実施例を図2を用いて説明する。

【0015】図示のように、(1-100)面n型ZnO基板1上に成長したIn_{1-x}GaxNの組成xが0.8から0.5まで連続的に変化するInGaN組成傾斜層11上に、組成傾斜層11に格子整合するIn_{1-y}Ga_yNバッファ層12、Siをドープしたn-InGaAlN層13、アンドープ多重量子井戸からなる活性層14、Mgをドープしたp-InGaAlN層15が順次積層されて構成される。これらの各層はガスソース分

子線成長法によりエピタキシャル成長される。バッファ層12、n-InGaN層13、p-InGaN層15の膜厚はそれぞれ、2μm、0.15μm、0.15μmである。アンドープ多重量子井戸活性層14は、拡大して示したように、In_{0.15}Ga_{0.85}A₁N障壁層（膜厚5nm）16とIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層（膜厚3nm）17が交互に積層形成された二重量子井戸構造を有する。ここで井戸層17の組成比は、In_{0.15}Ga_{0.85}Nバッファ層の格子定数をaとしたとき、これらの格子定数のずれ△a/aが-2.0%となるように設定されており、二軸性の引っ張り歪が印加されている。以上のようにして得られたウエハーの基板1の裏面にn側In電極8、p型InGaN層5にA1電極9を蒸着したのち、(11-20)面でへき開し[11-20]方向に長さ約800μmの共振器を形成し半導体レーザを作製する。本半導体レーザは室温においてしきい値電流約60mAで連続発振した。発振波長は約450nmであった。

【0016】上記の実施例では量子井戸層としてInGaN、基板としてZnOを用いたが、本発明の発光素子に使用される構成はこれに限定されず、例えば図3～図4に示す構成とすることができる。

【0017】図3に示した半導体レーザは、n型ZnO基板1の(1-100)面上に、基板1と格子整合するInGaNバッファ層2が成長され、このバッファ層2上にn-InGaN層3、アンドープ单一量子井戸活性層21、p-InGaN層5が順次積層されて構成されている。これらの各層はガスソース分子線成長法によりエピタキシャル成長される。ここで量子井戸活性層21は、拡大して示したように、GaN_{0.85}A_{0.15}井戸層（膜厚5nm）22がIn_{0.15}Ga_{0.85}A₁N障壁層（膜厚10nm）23にはさまれた单一量子井戸構造を有する。ここで井戸層22の組成比は、ZnOの格子定数をaとしたとき、これらの格子定数のずれ△a/aが-1.8%となるように設定されており、二軸性の引っ張り歪が印加されている。以上のようにして得られたウエハーの基板1の裏面にn側In電極8、p型InGaN層5にA1電極9を蒸着したのち、(11-20)面でへき開し[11-20]方向に長さ約800μmの共振器を形成し半導体レーザを作製する。本半導体レーザは室温においてしきい値電流約50mAで連続発振した。発振波長は約450nmであった。

【0018】図4に示した半導体レーザは、サファイア基板31の(1-100)面上に、InGaNバッファ層2が成長され、このバッファ層2上にn-InGaN層3、アンドープ多重量子井戸活性層4、p-InGaN層5が順次積層されて構成されている。これらの各層は有機金属気相成長法によりエピタキシャル成長される。ここで量子井戸活性層4は、拡大し

て示したように、In_{0.15}Ga_{0.85}A₁N障壁層（膜厚8nm）6とIn_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層（膜厚4nm）7が交互に2周期積層形成された多重量子井戸構造を有する。ここで井戸層7の組成比は、InGaNバッファ層の格子定数をaとしたとき、これから格子定数のずれ△a/aが-1.8%となるように設定されており、二軸性の引っ張り歪が印加されている。以上のようにして得られたウエハーのp-InGaNクラッド層5と量子井戸活性層4の一部をエッチングにより取り除き、n-InGaN層3を露出させ、p-クラッド層とn-クラッド層にA1電極9を蒸着したのち、(11-20)面でへき開し[11-20]方向に長さ約800μmの共振器を形成し半導体レーザを作製する。本半導体レーザは室温においてしきい値電流約70mAで連続発振した。発振波長は約420nmであった。

【0019】なお、本発明は、実施例に示したレーザ構造に限らず、さまざまな半導体レーザ、例えば分布帰還型レーザ、プラック反射型レーザ、波長可変レーザ、外部共振器付きレーザにも適用できる。

【0020】

【発明の効果】以上のように、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、面方位が(1-100)面、あるいは(11-20)面である基体結晶上に二軸性の引っ張り歪をもつ量子井戸活性層を成長し、導波路を

[0001]方向に垂直な方向に作製しているので、価電子帯上部の状態密度を小さく、かつ、遷移確率を増大できる。これにより、利得が増大し、しきい値電流密度を低減できるため、窒化ガリウム系化合物半導体レーザを実現できる。

【0021】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明実施例の半導体レーザの構成図。

【図2】本発明実施例の半導体レーザの構成図。

【図3】本発明実施例の半導体レーザの構成図。

【図4】本発明実施例の半導体レーザの構成図。

【図5】歪の無い場合のウルツ鉱型GaNの価電子帯上部のエネルギー分散を示す図。

【図6】2%二軸性引っ張り歪を印加した場合のウルツ鉱型GaNの価電子帯上部のエネルギー分散を示す図。

【符号の説明】

1…(1-100)面n型ZnO基板、2…InGaNバッファ層、3…n-InGaN層、4…アンドープ多重量子井戸活性層、5…p-InGaN層、6…In_{0.15}Ga_{0.85}A₁N障壁層、7…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、8…In電極、9…A1電極、11…InGaN組成傾斜層、12…In_{0.15}Ga_{0.85}Nバッファ層、13…n-InGaN層、14…アンドープ多重量子井戸活性層、15…p-InGaN層、16…In_{0.15}Ga_{0.85}A₁N障壁層、17…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、18…In電極、19…A1電極、20…InGaN組成傾斜層、21…A1電極、22…In_{0.15}Ga_{0.85}A₁N井戸層、23…In_{0.15}Ga_{0.85}Nバッファ層、24…In電極、25…A1電極、26…InGaN組成傾斜層、27…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、28…In電極、29…A1電極、30…InGaN組成傾斜層、31…サファイア基板、32…In_{0.15}Ga_{0.85}A₁N障壁層、33…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、34…In電極、35…A1電極、36…InGaN組成傾斜層、37…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、38…In電極、39…A1電極、40…InGaN組成傾斜層、41…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、42…In電極、43…A1電極、44…InGaN組成傾斜層、45…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、46…In電極、47…A1電極、48…InGaN組成傾斜層、49…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、50…In電極、51…A1電極、52…InGaN組成傾斜層、53…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、54…In電極、55…A1電極、56…InGaN組成傾斜層、57…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、58…In電極、59…A1電極、60…InGaN組成傾斜層、61…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、62…In電極、63…A1電極、64…InGaN組成傾斜層、65…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、66…In電極、67…A1電極、68…InGaN組成傾斜層、69…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、70…In電極、71…A1電極、72…InGaN組成傾斜層、73…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、74…In電極、75…A1電極、76…InGaN組成傾斜層、77…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、78…In電極、79…A1電極、80…InGaN組成傾斜層、81…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、82…In電極、83…A1電極、84…InGaN組成傾斜層、85…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、86…In電極、87…A1電極、88…InGaN組成傾斜層、89…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、90…In電極、91…A1電極、92…InGaN組成傾斜層、93…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、94…In電極、95…A1電極、96…InGaN組成傾斜層、97…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、98…In電極、99…A1電極、100…InGaN組成傾斜層、101…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、102…In電極、103…A1電極、104…InGaN組成傾斜層、105…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、106…In電極、107…A1電極、108…InGaN組成傾斜層、109…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、110…In電極、111…A1電極、112…InGaN組成傾斜層、113…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、114…In電極、115…A1電極、116…InGaN組成傾斜層、117…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、118…In電極、119…A1電極、120…InGaN組成傾斜層、121…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、122…In電極、123…A1電極、124…InGaN組成傾斜層、125…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、126…In電極、127…A1電極、128…InGaN組成傾斜層、129…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、130…In電極、131…A1電極、132…InGaN組成傾斜層、133…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、134…In電極、135…A1電極、136…InGaN組成傾斜層、137…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、138…In電極、139…A1電極、140…InGaN組成傾斜層、141…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、142…In電極、143…A1電極、144…InGaN組成傾斜層、145…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、146…In電極、147…A1電極、148…InGaN組成傾斜層、149…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、150…In電極、151…A1電極、152…InGaN組成傾斜層、153…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、154…In電極、155…A1電極、156…InGaN組成傾斜層、157…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、158…In電極、159…A1電極、160…InGaN組成傾斜層、161…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、162…In電極、163…A1電極、164…InGaN組成傾斜層、165…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、166…In電極、167…A1電極、168…InGaN組成傾斜層、169…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、170…In電極、171…A1電極、172…InGaN組成傾斜層、173…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、174…In電極、175…A1電極、176…InGaN組成傾斜層、177…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、178…In電極、179…A1電極、180…InGaN組成傾斜層、181…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、182…In電極、183…A1電極、184…InGaN組成傾斜層、185…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、186…In電極、187…A1電極、188…InGaN組成傾斜層、189…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、190…In電極、191…A1電極、192…InGaN組成傾斜層、193…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、194…In電極、195…A1電極、196…InGaN組成傾斜層、197…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、198…In電極、199…A1電極、200…InGaN組成傾斜層、201…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、202…In電極、203…A1電極、204…InGaN組成傾斜層、205…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、206…In電極、207…A1電極、208…InGaN組成傾斜層、209…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、210…In電極、211…A1電極、212…InGaN組成傾斜層、213…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、214…In電極、215…A1電極、216…InGaN組成傾斜層、217…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、218…In電極、219…A1電極、220…InGaN組成傾斜層、221…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、222…In電極、223…A1電極、224…InGaN組成傾斜層、225…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、226…In電極、227…A1電極、228…InGaN組成傾斜層、229…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、230…In電極、231…A1電極、232…InGaN組成傾斜層、233…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、234…In電極、235…A1電極、236…InGaN組成傾斜層、237…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、238…In電極、239…A1電極、240…InGaN組成傾斜層、241…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、242…In電極、243…A1電極、244…InGaN組成傾斜層、245…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、246…In電極、247…A1電極、248…InGaN組成傾斜層、249…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、250…In電極、251…A1電極、252…InGaN組成傾斜層、253…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、254…In電極、255…A1電極、256…InGaN組成傾斜層、257…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、258…In電極、259…A1電極、260…InGaN組成傾斜層、261…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、262…In電極、263…A1電極、264…InGaN組成傾斜層、265…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、266…In電極、267…A1電極、268…InGaN組成傾斜層、269…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、270…In電極、271…A1電極、272…InGaN組成傾斜層、273…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、274…In電極、275…A1電極、276…InGaN組成傾斜層、277…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、278…In電極、279…A1電極、280…InGaN組成傾斜層、281…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、282…In電極、283…A1電極、284…InGaN組成傾斜層、285…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、286…In電極、287…A1電極、288…InGaN組成傾斜層、289…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、290…In電極、291…A1電極、292…InGaN組成傾斜層、293…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、294…In電極、295…A1電極、296…InGaN組成傾斜層、297…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、298…In電極、299…A1電極、300…InGaN組成傾斜層、301…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、302…In電極、303…A1電極、304…InGaN組成傾斜層、305…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、306…In電極、307…A1電極、308…InGaN組成傾斜層、309…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、310…In電極、311…A1電極、312…InGaN組成傾斜層、313…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、314…In電極、315…A1電極、316…InGaN組成傾斜層、317…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、318…In電極、319…A1電極、320…InGaN組成傾斜層、321…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、322…In電極、323…A1電極、324…InGaN組成傾斜層、325…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、326…In電極、327…A1電極、328…InGaN組成傾斜層、329…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、330…In電極、331…A1電極、332…InGaN組成傾斜層、333…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、334…In電極、335…A1電極、336…InGaN組成傾斜層、337…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、338…In電極、339…A1電極、340…InGaN組成傾斜層、341…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、342…In電極、343…A1電極、344…InGaN組成傾斜層、345…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、346…In電極、347…A1電極、348…InGaN組成傾斜層、349…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、350…In電極、351…A1電極、352…InGaN組成傾斜層、353…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、354…In電極、355…A1電極、356…InGaN組成傾斜層、357…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、358…In電極、359…A1電極、360…InGaN組成傾斜層、361…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、362…In電極、363…A1電極、364…InGaN組成傾斜層、365…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、366…In電極、367…A1電極、368…InGaN組成傾斜層、369…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、370…In電極、371…A1電極、372…InGaN組成傾斜層、373…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、374…In電極、375…A1電極、376…InGaN組成傾斜層、377…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、378…In電極、379…A1電極、380…InGaN組成傾斜層、381…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、382…In電極、383…A1電極、384…InGaN組成傾斜層、385…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、386…In電極、387…A1電極、388…InGaN組成傾斜層、389…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、390…In電極、391…A1電極、392…InGaN組成傾斜層、393…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、394…In電極、395…A1電極、396…InGaN組成傾斜層、397…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、398…In電極、399…A1電極、400…InGaN組成傾斜層、401…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、402…In電極、403…A1電極、404…InGaN組成傾斜層、405…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、406…In電極、407…A1電極、408…InGaN組成傾斜層、409…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、410…In電極、411…A1電極、412…InGaN組成傾斜層、413…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、414…In電極、415…A1電極、416…InGaN組成傾斜層、417…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、418…In電極、419…A1電極、420…InGaN組成傾斜層、421…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、422…In電極、423…A1電極、424…InGaN組成傾斜層、425…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、426…In電極、427…A1電極、428…InGaN組成傾斜層、429…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、430…In電極、431…A1電極、432…InGaN組成傾斜層、433…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、434…In電極、435…A1電極、436…InGaN組成傾斜層、437…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、438…In電極、439…A1電極、440…InGaN組成傾斜層、441…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、442…In電極、443…A1電極、444…InGaN組成傾斜層、445…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、446…In電極、447…A1電極、448…InGaN組成傾斜層、449…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、450…In電極、451…A1電極、452…InGaN組成傾斜層、453…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、454…In電極、455…A1電極、456…InGaN組成傾斜層、457…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、458…In電極、459…A1電極、460…InGaN組成傾斜層、461…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、462…In電極、463…A1電極、464…InGaN組成傾斜層、465…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、466…In電極、467…A1電極、468…InGaN組成傾斜層、469…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、470…In電極、471…A1電極、472…InGaN組成傾斜層、473…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、474…In電極、475…A1電極、476…InGaN組成傾斜層、477…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、478…In電極、479…A1電極、480…InGaN組成傾斜層、481…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、482…In電極、483…A1電極、484…InGaN組成傾斜層、485…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、486…In電極、487…A1電極、488…InGaN組成傾斜層、489…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、490…In電極、491…A1電極、492…InGaN組成傾斜層、493…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、494…In電極、495…A1電極、496…InGaN組成傾斜層、497…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、498…In電極、499…A1電極、500…InGaN組成傾斜層、501…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、502…In電極、503…A1電極、504…InGaN組成傾斜層、505…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、506…In電極、507…A1電極、508…InGaN組成傾斜層、509…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、510…In電極、511…A1電極、512…InGaN組成傾斜層、513…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、514…In電極、515…A1電極、516…InGaN組成傾斜層、517…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、518…In電極、519…A1電極、520…InGaN組成傾斜層、521…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、522…In電極、523…A1電極、524…InGaN組成傾斜層、525…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、526…In電極、527…A1電極、528…InGaN組成傾斜層、529…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、530…In電極、531…A1電極、532…InGaN組成傾斜層、533…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、534…In電極、535…A1電極、536…InGaN組成傾斜層、537…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、538…In電極、539…A1電極、540…InGaN組成傾斜層、541…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、542…In電極、543…A1電極、544…InGaN組成傾斜層、545…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、546…In電極、547…A1電極、548…InGaN組成傾斜層、549…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、550…In電極、551…A1電極、552…InGaN組成傾斜層、553…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、554…In電極、555…A1電極、556…InGaN組成傾斜層、557…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、558…In電極、559…A1電極、560…InGaN組成傾斜層、561…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、562…In電極、563…A1電極、564…InGaN組成傾斜層、565…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、566…In電極、567…A1電極、568…InGaN組成傾斜層、569…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、570…In電極、571…A1電極、572…InGaN組成傾斜層、573…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、574…In電極、575…A1電極、576…InGaN組成傾斜層、577…In_{0.15}Ga_{0.85}N井戸層、578…In電極、579…A1電極、580…InGaN組成傾斜層、581…In_{0.15}Ga_{0.8}

$a_{0.1}$ N 井戸層、 2 1 … アンドープ単一量子井戸活性層、 2 2 … GaN_{0.95}As_{0.05} 井戸層、 2 3 … In_{0.1}

Ga_{0.8}Al_{0.2}N 障壁層、 3 1 … サファイア基板。

【図 1】

図 1

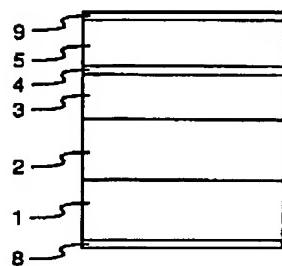
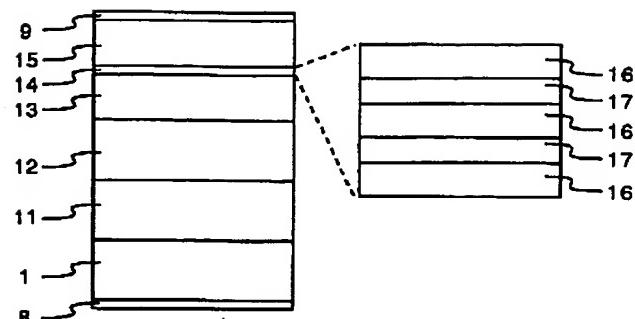
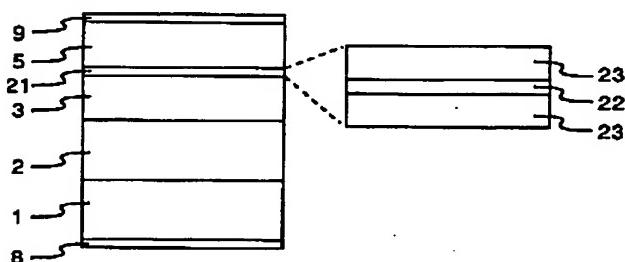


図 2



【図 3】

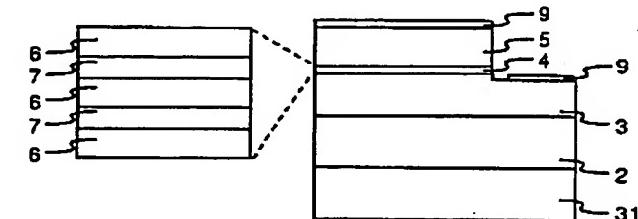
図 3



【図 5】

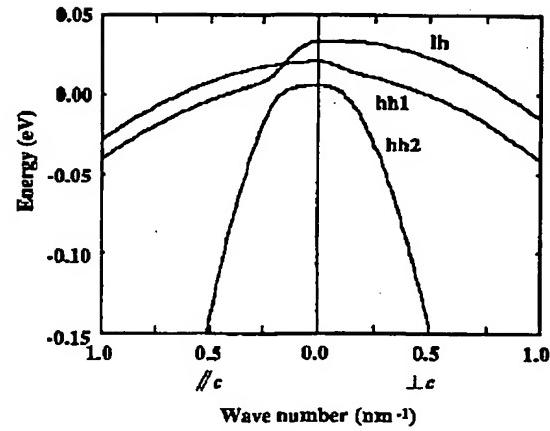
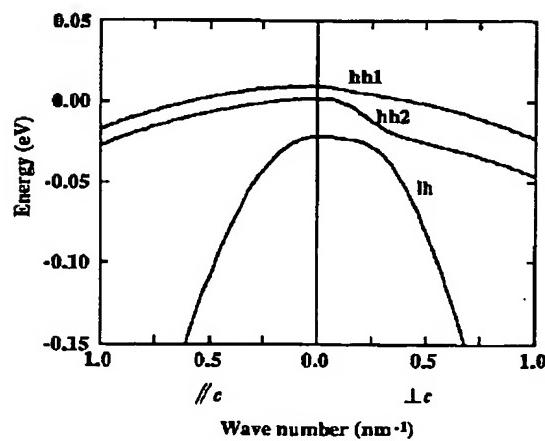
図 5

図 4



【図 6】

図 6



フロントページの続き

(72)発明者 田中 俊明

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 渡辺 明徳

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内